心理学报 2022, Vol. 54, No. 8, 867−880
Acta Psychologica Sinica

https://doi.org/10.3724/SP.J.1041.2022.00867

情绪面孔的意识神经相关物及其无意识自动加工：来自事件相关电位的证据*

孙 博 曾宪卿 许恺煜 谢韵婷 傅世敏

(广州大学教育学院心理系/脑与认知科学中心，广州 510006)

摘 要 意识的神经相关物尚有争议，且个体能否无意识自动检测视觉环境变化尚不清楚。本研究采用非注意视盲范式操控视觉意识，并引入具有社会信息的情绪面孔，探讨意识的神经相关物以及视觉意识与自动检测变化机制的关系。在A阶段，部分被试对任务无关的情绪面孔处于无意识水平；在B阶段，所有被试对任务无关的情绪面孔处于意识水平；在C阶段，所有被试对任务相关的情绪面孔处于意识水平。结果显示，任务无关的情绪面孔的意识过程诱发视觉意识负波(visual awareness negativity, VAN)、晚期正成分(late positivity, LP)和晚期枕区正成分(late occipital positivity, LOP)。此外，无意识的情绪面孔能诱发视觉失匹配负波(visual mismatch negativity, vMMN)，且其幅值不受意识影响，但是受任务相关性调制。这些结果提示对情绪面孔的视觉意识在不同的时间进程上有不同的ERP指标——VAN反映早期知觉经验，而LP和LOP反映晚期意识过程，而且面孔情绪信息的自动加工独立于视觉意识，但是受视觉注意调制。

关键词 非注意视盲，情绪面孔，视觉失匹配负波，视觉意识负波，晚期正成分

分类号 B842

1 前言

意识的神经相关物是充分地形成任意一个特定意识体验的最小神经机制(Koch et al., 2016)。近年来，意识神经相关物的研究主要在视觉通道进行(Koivisto & Grassini, 2016; Koivisto et al., 2016)。视觉意识指的是对进入视野的视觉信息产生的主观体验(Railo et al., 2011)。探究意识神经相关物通常采用对比研究设计，即在刺激的物理属性保持一致的情况下，比较意识和无意识的刺激诱发的大脑活动以及行为表现的差异(Rutiku & Bachmann, 2017)。在该设计下，研究者发现了两个可能是意识神经相关物的成分：视觉意识负波(visual awareness negativity, VAN)和晚期正成分(late positivity, LP) (Forster et al., 2020)。VAN通常是在刺激呈现200 ms后于大脑顶枕区出现的负成分(Forster et al., 2020; Koivisto & Grassini, 2016; Koivisto & Revonsuo, 2010)；而LP通常是在刺激呈现300 ms后在大脑顶区出现的正成分(Lamy et al., 2009; Salti et al., 2012)。

VAN和LP与意识的关系尚有争议。第一种观点认为，LP是最早且最可靠的意识神经相关物，且该观点受到基于主观报告范式的研究结果支持(Lamy et al., 2009; Salti et al., 2012)。另外，VAN反映的是视觉意识还是视觉注意尚有争议。一方面，有研究者将注意等同于意识(O'Regan & Noe, 2001)。另一方面，有研究者认为视觉注意和视觉意识是不同且独立的过程，可以相互分离(Maier & Tsuchiya, 2021)。因此，视觉意识与视觉注意是否共享同一神经机制尚有争议。而且VAN与选择性注意相关的选择负波(selection negativity, SN)有相同的极性以

收稿日期: 2021-12-03

* 国家科技部科技创新2030重大项目(2021ZD0203800)；国家自然科学基金资助项目(31970993)；广州市智能治理(教育)学生发展中心平台建设项目(GJZNZL-2021001)。

通信作者：傅世敏, E-mail: fusm@gzhu.edu.cn

及相似的潜伏期和头皮分布(Koivisto et al., 2005)。SN 是指，与非目标相比，对目标刺激或特征的选择性注意在刺激出现约 200 ms 后在头皮后部诱发的负成分(Koivisto et al., 2005)。因此，VAN 与视觉意识的关系有待检验。第二种观点认为，只有 VAN 是意识神经相关物，而 LP 不与意识相关，其反映的是由主观报告或任务相关性带来的工作记忆、决策等后知觉加工活动，且该观点受到非报告范式的研究结果支持(Pitts et al., 2012; Schlossmacher et al., 2020; Shafto & Pitts, 2015)。意识研究通常会要求被试报告意识知觉的主观体验，而该过程引入的后知觉加工活动可能会和意识过程的大脑活动相混淆(Koivisto et al., 2016; Tsuchiya et al., 2015)。第三种观点认为，VAN 和 LP 都是意识神经相关物(Rutiku et al., 2015)。意识感知过程会随时间变化(Aru & Bachmann, 2017)。因此，可能存在多个意识神经相关物，而 VAN 和 LP 可能反映了不同的意识过程。意识神经相关物尚有争议，有必要探究该问题。

采用情绪面孔刺激有利于揭示意识神经相关物。Shafto 和 Pitts (2015)采用非注意视盲范式和中性面孔刺激的结果显示，VAN 与意识相关，而 LP 与任务相关性有关。但是个体对中性面孔和情绪面孔的早期(Santesso et al., 2008; Wirth & Wentura, 2020)和晚期(Duval et al., 2013; Eimer & Holmes, 2002; Luo et al., 2010)加工存在差异。一方面，Wirth 和 Wentura (2020)采用点探测范式，并在屏幕两侧同时呈现快乐和中性面孔的结果显示，与无效提示相比，当快乐面孔有效提示探测刺激时被试反应更快。这提示与中性面孔相比，情绪面孔能更快地捕获注意。另一方面，Luo 等(2010)的研究结果显示，与中性面孔相比，情绪面孔在大脑顶区诱发更大的 P3，这可能与面孔情绪效价的评估过程有关。这提示个体对中性面孔和情绪面孔的晚期加工存在差异。因此，采用情绪面孔有利于考察早期和晚期的意识感知过程，从而揭示 VAN 和 LP 与意识的关系。此外，采用非注意视盲范式有利于探究意识的神经相关物。非注意视盲范式能有效且高生态效度地操控视觉意识(Schlossmacher et al., 2020)，且能通过任务相关性操控选择性注意。因此，该范式能通过分离 VAN 和 SN，以探讨 VAN 与视觉意识的关系。而且该范式能不依赖于主观报告研究意识过程，有利于在避免任务相关性的混淆影响下，探讨 LP 与意识的关系。本研究的第一个目的是采用非注意视盲范式和情绪面孔刺激，以探究意识神经相关物。

除了上述问题之外，本研究还探讨了视觉意识与自动检测机制的关系。自动检测环境变化的能力对有机体的生存至关重要。作为一种事件相关电位成分，视觉失匹配负波(visual mismatch negativity, vMMN)反映了个体自动检测视觉环境变化的大脑活动(Czigler, 2014; Stefanics et al., 2014)。vMMN 一般分布在头皮后部区域，其峰值通常在刺激呈现后的 200~400 ms 之间(Kimura et al., 2012)。研究者通常采用 Oddball 范式诱发 vMMN。在该范式中，不断重复的标准刺激形成的规律会被偶然出现的偏差刺激打破，从而诱发 vMMN (Stefanics et al., 2014)。

vMMN 反映的检测变化机制的自动程度究竟如何是一个重要的问题。已有研究结果提示，非注意的刺激能诱发 vMMN (Kuldkepp et al., 2013; Stefanics et al., 2012; Stefanics et al., 2018)，但是无意识的刺激能否诱发 vMMN 尚有争议。一方面，采用棋盘格这类简单视觉刺激，并用视觉掩蔽范式操控意识的研究结果(Czigler et al., 2007; Flynn et al., 2017)显示，无意识刺激不能诱发 vMMN。另一方面，Chen 等(2020)采用视觉掩蔽范式操控意识，并使用情绪面孔刺激的结果显示，无意识的恐惧面孔能诱发 vMMN (Chen et al., 2020)。结果之差异可能由情绪面孔的特异性所致。这需要从两方面进行说明。第一，情绪面孔和相对简单的视觉刺激诱发 vMMN 的机制可能不同(Czigler, 2014)。情绪面孔刺激不只是通过基础的视觉特征或其简单组合来诱发 vMMN，而是通过情绪类别信息诱发 vMMN。第二，已有大量研究结果提示面孔情绪信息能无意识加工(Axelrod et al., 2015; Morris et al., 1999; Pegna et al., 2005; Sato et al., 2014)。例如，Pegna 等(2005)发现，因视觉皮层受损而无法看见视觉刺激的病人在分辨正方形或圆这种简单视觉刺激的正确率处于机会水平，但是分辨情绪面孔的准确率则显著高于机会水平。这提示采用具有高自动加工性的情绪面孔刺激有利于揭示 vMMN 的自动性及其与视觉意识的关系。此外，采用非注意视盲范式有利于探究 vMMN 与视觉意识的关系。虽然 Chen 等(2020)采用视觉掩蔽范式探究了视觉意识与面孔情绪信息自动加工的关系，但是该研究的无意识水平操控不够严格，因被试在无意识水平判断面孔情绪的正确率显著高于机会水平。因此，有必要采用非注意视盲范式有效地操控无意识水平，以探究视觉意识

与面孔情绪信息自动加工的关系。

本研究拟采用非注意视盲范式和情绪面孔刺激，探讨意识神经相关物以及视觉意识与 vMMN 的关系。Shafto 和 Pitts (2015)采用中性面孔探究意识神经相关物的结果显示, VAN 与意识有关，而 LP 只与任务相关性有关。与此不同，由于情绪面孔与中性面孔存在晚期加工差异，本研究预期情绪面孔的意识过程诱发 VAN 和 LP, 即 VAN 和 LP 都是意识神经相关物。此外，由于有研究结果提示面孔情绪信息可能经由皮层下通路快速加工(Tamietto & de Gelder, 2010)，本研究预期面孔情绪信息的自动加工独立于视觉意识。具体而言，本研究预期无意识的情绪面孔能诱发 vMMN，且其幅值不受意识调制。

2　方法

2.1　被试

56 名大学生被试(37 名女性，平均年龄为 20.09 岁，标准差为 0.99)参加本实验。其中, 26 名被试属于无意识组。采用 G*power 3.1 软件，采用中等效应量(f = 0.25)估算样本量(α = 0.05, 1 − β = 0.95)，无意识组的计划样本量为 23 人。因此，本研究样本量符合要求。所有被试视力或矫正视力正常，无精神病史，其中有两人为左利手。所有被试在实验前均签署了实验知情同意书，完成实验后均获得了一定的报酬。本实验经广州大学教育学院研究伦理委员会批准同意。

2.2　实验参数

实验在隔音、弱光、电磁屏蔽的实验室中进行。本研究采用 E-Prime 3.0 (Psychology Software Tools)编制实验程序，使用 CRT 显示器呈现实验刺激。电脑屏幕的刷新率为 85 Hz，分辨率为 1024 × 768 像素。视距为 60 cm。

2.3　刺激材料

刺激材料包括背景中的白色线条和前景中的注视点以及红点(见图 1A)。背景中的白色线条的形状分为两种，一种是随机线条，另一种是快乐或恐惧的情绪面孔。情绪面孔是以 Shaft 和 Pitts (2015)采用的简笔画面孔为原型，在 Photoshop Cs6 (Adobe Systems)软件中用 36 条贝塞尔曲线绘成。将构成情绪面孔的线条复制 3 次，再伪随机地摆放在面孔的内部和外部，形成了非面孔线条。非面孔线条与眼睛、鼻子和嘴巴等面孔特征区域保持一定的距离，避免其对面孔特征的遮挡。使用 Aftereffects 2020 (Adobe Systems)软件随机化非面孔线条的朝向，最终生成快乐和恐惧面孔图片各 40 张(见图 1B)。将构成快乐和恐惧面孔的线条各复制 2 次，再完全随机化线条的位置和朝向，生成 40 张杂乱的随机线条图形。实验中每个试次的随机线条和情绪面孔都从中各自的 40 张图库里随机抽取。所有的白色线条放置于黑色背景上，其视角为 10° × 10°，情绪面孔刺激的视角为 9° × 8°。在前景刺激中，一个红色十字注视点(0.5° × 0.5°)一直呈现在屏幕中央。三条同心圆路径(半径各为 1.8°、3.4°、5°)上分别有 4 个红色圆点(半径各为 0.41°、0.32°和 0.24°)。这 12 个红点一起以 50°/s 的速度朝顺时针或者逆时针方向进行旋转。

在一个试次中，背景中的随机线条先呈现 700 ms，接着情绪面孔呈现 100 ms。在紧接着的下一个试次中，仍然先呈现随机线条，再呈现情绪面孔。在之后的试次中，随机线条和情绪面孔按此规律循环呈现。本实验采用流动标准范式(Schlossmacher et al., 2020; Stefanics et al., 2018)呈现情绪面孔刺激序列(见图 1D)。该范式一般在某段时间内重复呈现刺激，经过多次重复后的刺激是标准刺激，而每次发生变化时的刺激是偏差刺激。在本研究中，同一种情绪面孔会重复出现 4 到 8 次，从而构成 5 种长度的刺激序列。在本研究中，每个刺激序列的第一个情绪面孔为偏差刺激。偏差刺激出现之前至少会重复出现 4 次相同的情绪面孔。因此，为了更好地控制序列位置的影响，本研究选择序列中至少经过 4 次重复之后的刺激作为标准刺激。刺激序列之间的顺序随机，而且前后两个面孔序列的情绪类型不同。此外，为了设置情绪面孔持续消失条件，平均每隔 9 ± 3 个情绪面孔刺激序列，就会有一个刺激序列的最后三个情绪面孔被替换为杂乱的线条背景。因此，在出现情绪面孔持续消失条件时，连续的三个试次都不会出现情绪面孔，而随机线条代替情绪面孔出现。每个实验阶段包含 5 个 block。在每个 block 中, 5 种长度的快乐和恐惧面孔刺激序列都重复呈现 4 次，快乐和恐惧面孔刺激序列各 20 个。每个 block 共有 240 个试次。每个实验阶段时长约 20 分钟。

2.4　实验程序

本实验依次序地进行 A、B、C 三个实验阶段。在 A 阶段，被试需要探测红点颜色变化。平均每隔 43.8 ± 9 s, 12 个红点中随机的一个红点的颜色会持续 2 s 地变亮，即 RGB 值从(127, 0, 0)变为(204, 0, 0)。被试需要在两秒钟内及时按键反应。在红点

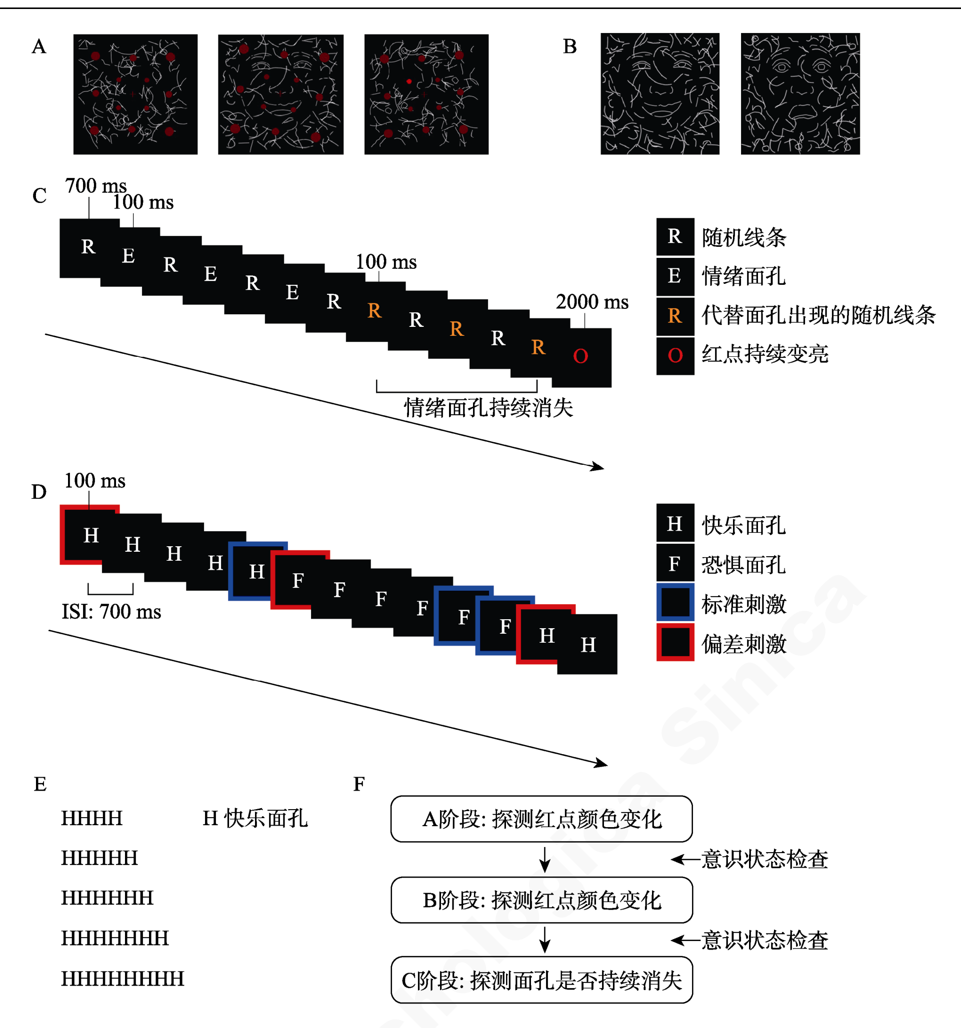


图 1 A：实验刺激。前景中的 12 个红点会一起旋转。左图是随机线条图。中图是情绪面孔图。右图是红点持续变亮图。B：情绪面孔刺激。左图是快乐面孔，右图是恐惧面孔。C：实验流程图。随机线条 R、情绪面孔 E 以及红点持续变亮 O 指的是图 A 中的三种实验刺激。在一个试次中，随机线条先呈现 700 ms，接着情绪面孔呈现 100 ms。在紧接着的下一个试次中，仍然先呈现杂乱线条背景，再呈现情绪面孔。在之后的试次中，杂乱线条背景和情绪面孔按此规律循环呈现。在 A 和 B 阶段，被试需要在觉察到红点变亮时进行按键反应。在 C 阶段，被试需要在觉察到情绪面孔持续消失时进行按键反应，且只需进行一次按键反应。在出现情绪面孔持续消失条件时，连续的三个试次都不会出现情绪面孔，而随机线条代替情绪面孔出现。在 C 阶段，为了提醒被试任务已经出现，红点变亮作为一种事后提示，在情绪面孔持续消失条件结束后出现。D：流动标准范式示意图。每个序列中的第一个刺激是偏差刺激，而重复出现 4 次后的刺激是标准刺激。ISI (Interstimulus-interval)指的是刺激间隔。E：以快乐面孔为例，同一种情绪面孔会重复出现四到八次，从而构成 5 种长度的刺激序列。恐惧面孔同样有 5 种长度的刺激序列。F：实验阶段流程图。A、B 和 C 阶段依次序进行。为了检查被试对情绪面孔的意识状态，被试需要在完成 A 和 B 阶段后各填写一份意识状态检查问卷。

变亮时，背景中不会出现情绪面孔，只会出现随机线条背景。如果被试及时按键反应，红点不再变亮，并且 12 个红点调转旋转方向。如果被试未及时反应，在 2 s 后 12 个红点调转旋转方向。在 A 阶段，由于未被告知情绪面孔的存在且需要探测红点颜色变化，部分被试对任务无关的情绪面孔处于无意识水平。在 B 阶段，由于被告知情绪面孔的存在，所有被试对情绪面孔处于意识水平。但在 B 阶段，被试仍需探测红点颜色变化，而情绪面孔是任务无关的。在 C 阶段，被试不再需要探测红点变化，而是需要探测情绪面孔是否持续消失。在出现情绪面孔持续消失条件时，连续的三个试次都不会出现情绪面孔，而随机线条代替情绪面孔出现。被试需要在察觉到情绪面孔持续消失时进行按键反应，且只需进行一次按键反应。在 C 阶段，为了提醒被试任务已经出现，红点变亮作为一种事后提示，在情绪面孔持续消失条件结束后出现。三个实验阶段呈现的刺激一致，只有任务发生了变化。为了使被试能适

应实验任务，阶段 A 和阶段 C 之前都会有练习阶段。在 A 阶段的练习阶段中，背景不会出现情绪面孔，只会呈现杂乱的随机线条。

为了检查被试对情绪面孔的意识状态，被试需要在完成 A 和 B 阶段后填写一份意识状态检查问卷(Pitts et al., 2012)。被试需要回答是否觉察到背景中的情绪面孔，并且将看到的事物尽可能详细地画出来。此外，被试还需要对情绪面孔和其他 4 种未出现的简笔画图形(房子、剪刀、汽车、灯泡)出现的自信程度和频率进行 5 点评分。此外，为了评定情绪面孔刺激，另有 29 名被试(18 名女性，平均年龄为 23.41 岁，标准差为 2.18)通过问卷判断面孔的情绪类型，并用 9 点量表评分评价愉悦度和唤醒度。

2.5　EEG 信号记录和处理

脑电数据(EEG)由 64 导 Ag/AgCI 电极脑电系统(NeuroScan, Texas, USA)采集。所有电极头皮电阻均小于 5 kΩ，采样率为 1000 Hz。于距离左侧眼睛上下 1.5 cm 的位置放置电极记录垂直眼电(VEOG)，于距离双眼外侧 1.5 cm 的位置放置电极记录水平眼电(HEOG)，位于 CPZ 和 CZ 之间的一个电极作为在线参考电极，以全脑平均作为离线参考电极。使用 ERPLAB 插件对数据进行离线分析。在 0.05~40 Hz 的带通滤波后，进行 50 Hz 的陷波处理。在数据分段后使用独立成分分析(ICA)矫正眼电伪迹。本研究选取情绪面孔刺激出现前 200 ms 作为基线，面孔刺激呈现后的 600 ms 作为分析时程。在叠加平均之前，根据实验需要剔除部分试次。第一，在每个 block 的实验刚刚开始时，被试未做好准备活动可能对脑电数据产生影响。因此，剔除每个 block 的前 5 个试次；第二，为了避免按键反应对脑电数据的影响，剔除实验中被试需要按键反应或错误反应后的两个试次；第三，在出现情绪面孔持续消失条件时，连续的三个试次的情绪面孔不会出现，而随机线条代替情绪面孔出现，所以剔除包含情绪面孔持续消失条件的试次；第四，为了避免潜在的伪迹，在垂直眼电上幅值超过 ± 35 μV，或者在水平眼电上幅值超过 ± 25 μV，或者在其他电极上幅值超过 ± 75 μV 的试次会被剔除。平均 13.7% (标准差 2.75%)的试次被剔除。

2.6　数据分析

vMMN 通常是偏差刺激与标准刺激的 ERPs 的差值。本研究比较的是同一种情绪面孔在分别作为偏差刺激和标准刺激时的 ERPs 差异。因此偏差刺激和标准刺激具有完全相同的物理属性，所得到的差异源自二者所处的序列环境不同。在本研究采用的流动标准范式中，每个刺激序列的第一个情绪面孔为偏差刺激，而偏差刺激出现之前至少会重复出现 4 次相同的情绪面孔。为了更好地控制序列位置的影响，本研究选择序列中经过 4 次重复之后的刺激作为标准刺激。

根据前人的研究和本研究的总平均图，选择 PO7、PO8 两个电极点的数据分析 vMMN (Stefanics et al., 2012)、VAN (Koivisto & Revonsuo, 2010)、SN (Hillyard & Anllo-Vento, 1998)和 LOP (late occipital positivity) (Pitts et al., 2014)。LOP 指的是刺激呈现 300 ms 后在枕区出现的晚期正成分。这 4 个成分的时间窗分别是 250~350 ms、200~300 ms、180~250 ms、400~600 ms。虽然 vMMN 和 VAN 的时间窗有重叠，但是这两个成分的计算方法不同。vMMN 是偏差刺激与标准刺激的 ERPs 的差值。VAN 是意识水平和无意识水平的 ERPs 的差值。因此，即使时间窗有重叠，这两个成分仍可以相互区分。对于 LP (Polich, 2007)的分析，则选择 FCZ、CZ、CPZ 三个电极点的 300~400 ms 的数据。

采用 SPSS 21.0 软件，对意识状态检查问卷中的自信程度和频率的评价分数、情绪面孔材料评定的结果以及三个实验阶段的准确率进行分析。在分析意识神经相关物时，本研究重点关注无意识组在 A 阶段(无意识水平)和 B 阶段(意识水平)的 ERPs 的差异。因此，并不是分析 B 阶段所有被试的数据，而是分析无意识组在 A、B 两个阶段的数据。关于意识神经相关物，对无意识组的 A 和 B 阶段的标准刺激的 ERP 波幅进行分析，采用 2 (阶段：A、B) × 2 (情绪类型：快乐、恐惧) × 2 (半球：左、右)的三因素重复测量方差分析。关于任务相关性的影响，对所有被试的 B 和 C 阶段的标准刺激的 ERP 波幅进行分析，采用 2 (阶段：B、C) × 2 (情绪类型：快乐、恐惧) × 2 (半球：左、右)的三因素重复测量方差分析。关于视觉意识与面孔情绪信息自动加工的关系，对 A 阶段的数据进行 2 (刺激类型：偏差、标准) × 2 (情绪类型：快乐、恐惧) × 2 (半球：左、右) × 2 (意识分组：无意识组、意识组)的四因素方差分析，意识分组是被试间因素，刺激类型、情绪类型和半球是被试内因素。对不符合球形假设的 p 值采用 Greenhouse-Geisser 法校正。

3　结果

3.1　行为结果

意识状态检查问卷结果显示，在 A 阶段结束后，

有 26 名被试未意识到情绪面孔的存在，30 名被试意识到存在情绪面孔。根据该结果，本研究将被试分为 A 阶段的意识组和无意识组。在 B 阶段结束后，意识检查问卷结果表明，所有56名被试都意识到了存在情绪面孔。

对无意识组在 A 和 B 阶段中对其他图形和情绪面孔出现的自信程度的评价分数(见表 1)进行 2 (图形类型：其他图形、情绪面孔) × 2 (阶段：A、B)的两因素重复测量方差分析，结果显示，阶段的主效应显著，$F(1, 25) = 286.46$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.92$；图形类型的主效应显著，$F(1, 25) = 445.51$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.95$；阶段和图形类型的交互作用显著，$F(1, 25) = 781.23$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.97$，简单效应分析结果显示，在 A 阶段，其他图形和情绪面孔的自信程度无显著差异($p = 0.16$)，而在 B 阶段，情绪面孔的自信程度显著高于其他图形($p < 0.001$)。情绪面孔出现频率的评价分数与此结果模式一致。这些结果说明无意识组被试在 A 阶段未能意识到情绪面孔的存在，因此不能有效地区分情绪面孔和其他图形；在 B 阶段无意识组被试被告知情绪面孔的存在，从而能有效地区分情绪面孔和其他图形。这提示无意识水平操控的有效性。

表 1 自信程度和频率的评价分数[*M* (*SD*)]

阶段	自信程度		频率	
	其他图形	情绪面孔	其他图形	情绪面孔
A				
无意识组	1.60 (0.63)	1.46 (0.56)	1.10 (0.25)	1.04 (0.19)
意识组	1.78 (0.57)	4.08 (0.79)	1.22 (0.32)	3.02 (0.84)
B				
无意识组	1.33 (0.46)	4.90 (0.40)	1.01 (0.05)	4.00 (0.62)
意识组	1.23 (0.44)	5.00 (0.00)	1.04 (0.12)	4.23 (0.69)

对无意识组和意识组在 A 阶段对其他图形和情绪面孔出现的自信程度的评价分数进行 2 (图形类型：其他图形、情绪面孔) × 2 (意识分组：无意识组、意识组)的两因素方差分析，结果显示，意识分组的主效应显著，$F(1, 54) = 131.5$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.71$；图形类型的主效应显著，$F(1, 54) = 77.376$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.59$；图形类型和意识分组的交互作用显著，$F(1, 54) = 97.81$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.64$，简单效应分析结果显示，在无意识组中其他图形和情绪面孔的自信程度无显著差异($p = 0.46$)，在意识组中情绪面孔的自信程度显著大于其他图形($p < 0.001$)。情绪面孔出现频率的评价分数与此结果模式一致。这些结果说明在A阶段，无意识组被试未意识到情绪面孔的存在，因此不能有效地区分情绪面孔和其他图形；而意识组因为意识到情绪面孔的存在，所以能有效区分情绪面孔和其他图形。这提示了意识操控的有效性。

关于情绪面孔刺激材料评定，情绪类型的准确率结果显示，本研究采用的快乐和恐惧面孔都反映了相应的情绪类型(快乐：0.97 ± 0.19；恐惧：0.93 ± 0.26)。此外，快乐面孔(6.97 ± 0.94)的愉悦度显著高于恐惧面孔(2.97 ± 1.72) ($t(28) = 10.87$, $p < 0.001$, $d = 2.02$)；快乐面孔(5.9 ± 1.29)和恐惧面孔(5.41 ± 1.8)的唤醒度无显著差异($t(28) = 1.23$, $p = 0.23$, $d = 0.23$)。

对 3 个实验阶段的准确率(见表 2)进行单因素(阶段：A、B 和 C)三水平的重复测量方差分析，结果显示，阶段的主效应显著，$F(2, 110) = 42.04$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.43$，A 阶段的准确率显著高于 B 阶段($p = 0.017$)，C 阶段的准确率显著低于 A 阶段($p < 0.001$)和 B 阶段($p < 0.001$)。该结果提示 C 阶段的任务难度大于 A、B 阶段。此外，A 阶段的意识组和无意识组的准确率无显著差异，$t(54) = -0.53$, $p = 0.6$。

表 2 三个实验阶段的反应时(ms)、准确率和虚报次数[*M* (*SD*)]

阶段	反应时	准确率	虚报次数
A	718 (106)	0.97 (0.06)	0.70 (1.11)
B	719 (105)	0.96 (0.06)	0.65 (0.95)
C	1386 (239)	0.87 (0.11)	4.65 (4.37)

3.2 ERP 结果

3.2.1 视觉意识的神经相关物

对无意识组的 A 阶段和 B 阶段的所有标准刺激的 ERP 波幅进行分析(见图 2A)。对 200~300 ms 时间窗内的 PO7、PO8 两个电极点上的数据，进行 2 (阶段：A、B) × 2 (情绪类型：快乐、恐惧) × 2 (半球：左、右)的三因素重复测量方差分析，结果显示，阶段的主效应显著，$F(1, 25) = 16.385$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.396$，无意识组在 B 阶段的 ERP 波幅显著负于 A 阶段($p < 0.001$)，这提示情绪面孔的意识过程诱发 VAN。阶段和情绪类型的交互作用显著，$F(1, 25) = 6.03$, $p = 0.021$, $\eta_p^2 = 0.19$。简单效应分析结果显示，快乐面孔在B阶段诱发的ERP波幅显著负于 A 阶段($p < 0.001$)，恐惧面孔在 B 阶段诱发的 ERP 波幅显著负于 A 阶段($p = 0.005$)，这提示快乐和恐惧面孔的意识过程都诱发 VAN，并且与恐惧面孔相比，快乐面孔诱发的 VAN 幅值更大。

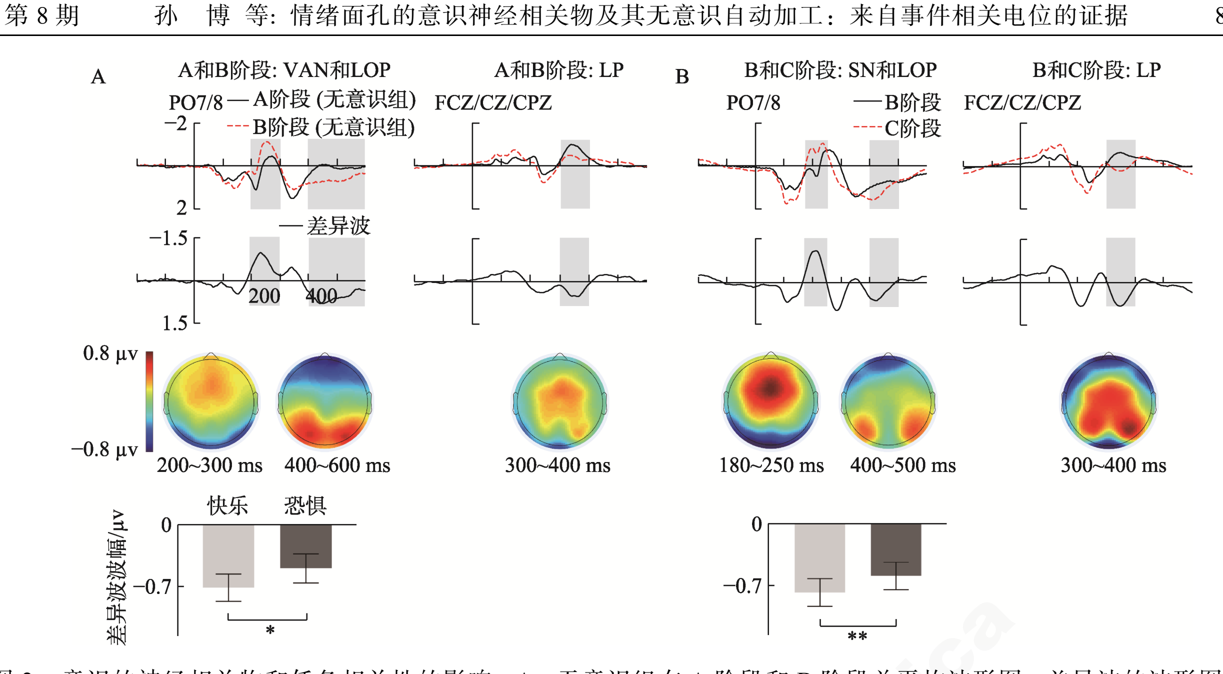


图 2　意识的神经相关物和任务相关性的影响。A：无意识组在 A 阶段和 B 阶段总平均波形图、差异波的波形图和地形图。差异波由无意识组的 B 阶段减去 A 阶段的 ERPs 得出。在 PO7/8 电极上的 200~300 ms 和 400~600 ms 的差异波分别是 VAN 和 LOP。柱状图是快乐和恐惧面孔诱发的 VAN 波幅。误差线表示标准误, *表示有显著差异，且*代表 $p < 0.05$, **代表 $p < 0.01$; B：C 阶段和 B 阶段总平均的波形图、差异波的波形图和地形图。差异波由 C 阶段减去 B 阶段的 ERPs 得出。在 PO7/8 电极上的 180~250 ms 和 400~500 ms 的差异波分别是 SN 和 LOP。柱状图是快乐和恐惧面孔诱发的 SN 波幅。

对 400~600 ms 时间窗的 PO7、PO8 两个电极点上的数据，进行 2 (阶段：A、B) × 2 (情绪类型：快乐、恐惧) × 2 (半球：左、右)的三因素重复测量方差分析，结果显示，阶段的主效应显著, $F(1, 25) = 15.79$, $p = 0.001$, $\eta_p^2 = 0.39$, B 阶段的 ERP 波幅显著正于 A 阶段，说明情绪面孔的意识过程诱发 LOP。

对 300~400 ms 时间窗内的 FCZ、CZ 和 CPZ 上的数据，进行 2 (阶段：A、B) × 2 (情绪类型：快乐、恐惧) × 3 (电极位置：FCZ、CZ 和 CPZ)的三因素重复测量方差分析，结果显示，阶段的主效应显著, $F(1, 25) = 11.481$, $p = 0.002$, $\eta_p^2 = 0.32$, B 阶段的 ERP 波幅显著正于 A 阶段，说明情绪面孔的意识过程诱发 LP。

此外，对 A 阶段中无意识组和意识组的所有标准刺激的 ERP 波幅进行分析。在 PO7 和 PO8 两个电极点上，对 200~300 ms 和 400~600 ms 两个时间窗进行 2 (意识分组：无意识组、意识组) × 2 (情绪类型：快乐、恐惧) × 2 (半球：左、右)的三因素重复测量方差分析，无显著结果($ps > 0.05$)。在 300~400 ms 的时间窗和 FCZ、CZ 和 CPZ 三个电极点上，进行 2 (意识分组：无意识组、意识组) × 2 (情绪类型：快乐、恐惧) × 3 (电极位置：FCZ、CZ 和 CPZ)的三因素重复测量方差分析，无显著结果($ps > 0.05$)。

3.2.2　任务相关性的影响

对 C 阶段和 B 阶段的标准刺激的 ERP 波幅进行分析(见图 2B)。对 180~250 ms 时间窗内的 PO7、PO8 两个电极上的数据，进行 2 (阶段：B、C) × 2 (情绪类型：快乐、恐惧) × 2 (半球：左、右)的三因素重复测量方差分析，结果显示，阶段的主效应显著, $F(1, 55) = 20.93$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.28$, C 阶段的 ERP 波幅显著负于 B 阶段，说明任务相关性诱发 SN。阶段和情绪类型交互作用显著, $F(1, 55) = 7.06$, $p = 0.01$, $\eta_p^2 = 0.11$。简单效应分析结果显示，快乐面孔在 C 阶段诱发的 ERP 波幅显著负于 B 阶段($p < 0.001$)，恐惧面孔在 C 阶段诱发的 ERP 波幅显著负于 B 阶段($p = 0.005$)，这提示快乐和恐惧面孔的任务相关性都诱发 SN，并且与恐惧面孔相比，快乐面孔诱发的 SN 幅值更大。

对 400~500 ms 时间窗内的 PO7、PO8 两个电极点上的数据，进行 2 (阶段：B、C) × 2 (情绪类型：快乐、恐惧) × 2 (半球：左、右)的三因素重复测量方差分析，阶段的主效应显著, $F(1, 55) = 6.12$, $p = 0.02$, $\eta_p^2 = 0.1$, C 阶段的 ERP 波幅显著正于 B 阶段，说明任务相关性诱发 LOP。

对 300~400 ms 时间窗内的 FCZ、CZ 和 CPZ 三个电极点的数据，进行 2 (阶段：B、C) × 2 (情绪类型：快乐、恐惧) × 3 (电极位置：FCZ、CZ 和 CPZ)

的三因素重复测量方差分析，结果显示，阶段的主效应显著，$F(1, 55) = 29.77$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.35$, C 阶段的ERP波幅显著正于B阶段，说明任务相关性诱发 LP。

3.2.3 对 vMMN 的分析

对于 vMMN，分别对三个实验阶段的 250 ~ 350 ms 的 PO7、PO8 两个电极点的数据进行分析。首先，对 A 阶段的数据进行 2 (刺激类型：偏差、标准) × 2 (情绪类型：快乐、恐惧) × 2 (半球：左、右) × 2 (意识分组：无意识组、意识组)的四因素方差分析，结果显示，刺激类型的主效应显著，$F(1, 54) = 9.43$, $p = 0.003$, $\eta_p^2 = 0.149$，偏差刺激的 ERP 波幅显著负于标准刺激，这提示 A 阶段存在 vMMN (见图 3A)。刺激类型与其他因素的交互作用均不显著($ps > 0.05$)，A 阶段的 vMMN 不受情绪类型、意识分组(见图 3C)和半球因素的影响，这提示在 A 阶段的意识组和无意识组中，情绪面孔都能诱发 vMMN。其次，分别对 B 阶段和 C 阶段的数据进行 2 (刺激类型：偏差、标准) × 2 (情绪类型：快乐、恐惧) × 2 (半球：左、右)的三因素重复测量方差分析，结果显示，在 B 和 C 阶段，刺激类型的主效应都显著(B：$F(1, 55) = 6.77$, $p = 0.012$, $\eta_p^2 = 0.11$; C：$F(1, 55) = 28.9$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.34$), B 和 C 阶段的偏差刺激的 ERP 波幅都显著负于标准刺激，这说明 B 和 C 阶段都存在 vMMN (见图 3A)。刺激类型与其他因素的交互作用均不显著($ps > 0.05$)，这提示 B 和 C 阶段的 vMMN 不受情绪类型和半球因素的影响。最后，配对样本 t 检验结果显示，无意识组的 A 和 B 阶段的 vMMN 幅值无差异($t(25) = 0.14$, $p = 0.88$)，这提示情绪面孔诱发的 vMMN 的幅值不受意识影响。将三个阶段的 vMMN 差异波进行单因素(阶段：A、B 和 C)三水平的重复测量方差分析，结果显示，阶段的主效应显著，$F(2, 110) = 5.24$, $p = 0.007$, $\eta_p^2 = 0.087$，任务相关的 C 阶段的 vMMN 显著大于任务无关的 A 阶段($p = 0.019$)和 B 阶段($p = 0.003$)，A 阶段和 B 阶段的 vMMN 无显著差异($p = 0.89$) (见图 3B)，这提示情绪面孔诱发的 vMMN 的幅值受任务相关性调制。

4 讨论

本研究旨在探讨情绪面孔的意识神经相关物以及视觉意识与面孔情绪信息自动加工的关系。本研究有四个主要结果。第一，任务无关的情绪面孔的意识过程诱发 VAN、LP 和 LOP，这提示在避免视觉注意的混淆影响下，VAN 是意识神经相关物，而且在避免任务相关性的混淆影响下，LP 是意识神经相关物；第二，对情绪面孔的视觉意识在不同的时间进程上有不同的 ERP 指标——VAN 反映早期知觉经验，而 LP 和 LOP 反映晚期意识过程；第三，无意识的情绪面孔能诱发 vMMN，且其幅值不受意识影响，这提示面孔情绪信息的自动加工独立于视觉意识；第四，情绪面孔诱发的vMMN幅值受任务相关性调制，这提示视觉注意影响面孔情绪信息自动加工。据我们所知，本研究是第一个采用非注意视盲范式探讨情绪面孔的意识神经相关物以及视觉意识与面孔情绪信息自动加工的关系的研究。下文将进一步对上述结果进行讨论。

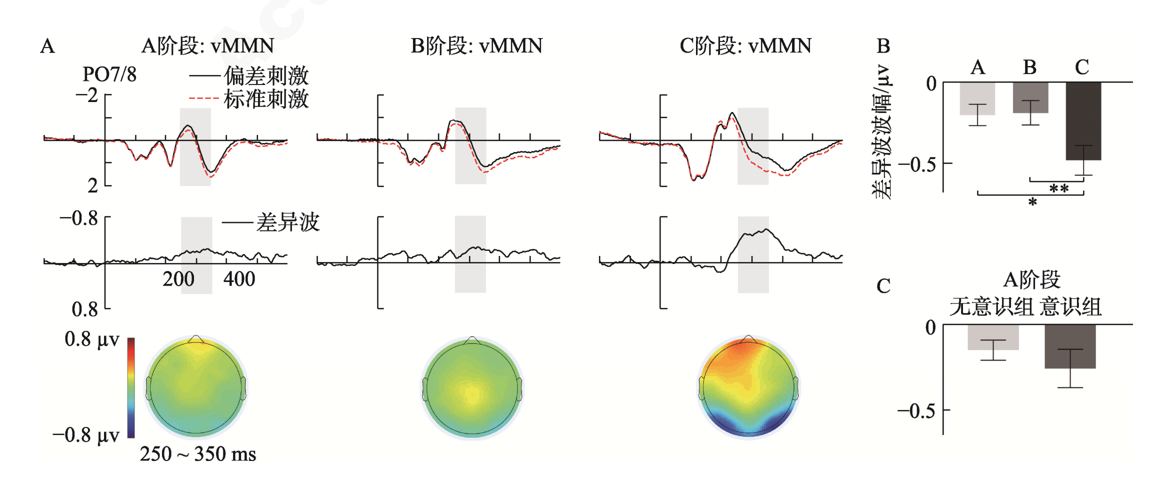


图 3 vMMN 的分析结果图。A：三个实验阶段的偏差和标准刺激的总平均波形图、vMMN 差异波的波形图和地形图。差异波由偏差刺激减去标准刺激的 ERPs 得出。B：三个实验阶段在 250 ~ 350 ms 时间窗内的 vMMN 的平均幅值。误差线表示标准误。*表示有显著差异，*代表 $p < 0.05$, **代表 $p < 0.01$; C：A 阶段的无意识组和意识组的在 250 ~ 350 ms 时间窗内的 vMMN 的平均幅值。

VAN 和 LP 与意识的关系尚有争议。第一种观点认为, LP 是最早且最可靠的意识神经相关物, 且该观点受到基于主观报告范式的研究结果支持(Lamy et al., 2009; Salti et al., 2012)。另外, 由于视觉注意的混淆影响, VAN 与视觉意识的关系有待检验(Koivisto & Revonsuo, 2010)。第二种观点认为, 只有 VAN 是意识神经相关物, 而 LP 不与意识相关, 其反映的是由于主观报告或任务相关性带来的工作记忆、决策等后知觉加工活动, 且该观点受到非报告范式的研究结果支持(Pitts et al., 2012; Schlossmacher et al., 2020; Shafto & Pitts, 2015)。第三种观点认为, VAN 和 LP 都是意识神经相关物(Rutiku et al., 2015)。本研究结果显示, 任务无关的情绪面孔的意识过程诱发 VAN、LP 和 LOP。因此, 本研究结果支持第三种观点。这需要从三方面进行讨论。

首先, 在避免视觉注意的混淆影响下, VAN 是意识神经相关物。由于 VAN 和 SN 有相同的极性以及相似的潜伏期和头皮分布, VAN 反映的是视觉意识还是视觉注意有待检验。本研究通过非注意视盲范式操控视觉意识, 并通过任务相关性操控选择性注意, 结果显示, 任务无关的情绪面孔的意识过程诱发了 VAN, 而任务相关性诱发 SN。本研究通过分离情绪面孔的视觉意识和选择性注意的神经活动, 为 VAN 是意识神经相关物提供了证据。与此一致, 以往研究采用字母(Koivisto & Revonsuo, 2007; Koivisto et al., 2005)和光栅(Koivisto & Revonsuo, 2008)这类简单视觉刺激, 通过分离 VAN 和 SN, 为 VAN 反映视觉意识提供证据。另外, 本研究结果显示, 快乐面孔比恐惧面孔诱发了更大的 VAN 和 SN。这可能是与恐惧面孔相比, 快乐面孔具有的知觉加工优势所致。有研究结果提示存在快乐面孔优势(Becker et al., 2012; Calvo & Nummenmaa, 2008)。例如, Calvo 和 Nummenmaa (2008)的研究结果显示, 与愤怒和恐惧面孔相比, 快乐面孔能更快地被探测, 而且该优势可能由快乐面孔的微笑嘴部区域能快速捕获注意所致。在本研究中, VAN 和 SN 的快乐面孔优势可能是微笑的嘴部特征带来的。但是另有研究结果提示存在消极面孔优势(LoBue, 2009; Segal & Moulson, 2020)。因此, VAN 和 SN 的快乐面孔优势有待研究进行检验。

其次, 在避免任务相关性的混淆影响下, LP 是意识神经相关物。由于主观报告或任务相关性的混淆影响, LP 与意识的关系有待检验。本研究结果显示, 任务无关的情绪面孔的意识过程诱发 LP, 这提示 LP 是意识神经相关物。值得注意的是, 任务相关性同样诱发 LP, 这说明 LP 与意识的关系会受到任务相关性的混淆影响。但是这可能反映了任务相关性带来的对目标刺激的后知觉加工活动。本研究通过分离视觉意识和任务相关性带来的后知觉加工活动, 为 LP 是意识神经相关物提供了较为清晰的证据。与此不同, Shafto 和 Pitts (2015)采用中性面孔的研究结果显示, LP 与意识无关, 只与任务相关性有关。该研究与本研究结果之差异可能由面孔情绪信息的特殊性所致。有研究结果提示, 个体对中性面孔和情绪面孔的晚期加工存在差异(Duval et al., 2013; Eimer & Holmes, 2002; Luo et al., 2010)。例如, Luo 等(2010)的研究结果显示, 与中性面孔相比, 情绪面孔在大脑顶区诱发更大的 P3, 这可能与面孔情绪效价的评估过程有关。这提示对面孔情绪信息的晚期意识加工可能诱发 LP, 且采用特殊的情绪面孔刺激有利于揭示 LP 与意识的关系。

最后, 对情绪面孔的视觉意识在不同的时间进程上有不同的 ERP 指标——VAN 反映早期知觉经验, 而 LP 和 LOP 反映晚期意识过程。意识感知过程会随时间变化(Aru & Bachmann, 2017)。Koivisto 等(2017)探讨不同加工水平对视觉意识的影响的研究结果提示, 意识不是瞬间产生的, 而是可以分为不同的阶段。其结果显示, 探测目标数字是否出现的低水平加工任务调制 VAN 幅值; 而识别目标数字的高水平任务调制 LP 幅值。这些研究者认为, VAN 反映了早期知觉刺激时产生的主观体验; 而 LP 反映了晚期对刺激的高级属性进行识别、分类的认知过程。与此一致, 本研究认为 VAN、LP 和 LOP 这些相继出现的 ERP 成分可能反映了不同意识阶段的神经活动。VAN 可能反映了对情绪面孔的早期知觉经验。这符合循环加工理论(Lamme, 2010)的解释, 即视觉意识的主观体验出现较早, 是低级视觉皮层和高级视觉皮层之间循环加工的结果。VAN 的早期在枕颞区出现的时空分布特征与循环加工理论的解释一致。此外, LP 和 LOP 反映了对情绪面孔的非知觉信息的晚期意识过程。这能从全局神经工作空间理论(Dehaene & Changeux, 2011)得到解释。该理论认为视觉意识出现较晚, 只有当刺激表征在位于额顶皮层中的工作空间加工之后, 才会产生意识。在本研究中, 被试在知觉情绪面孔后可能还会进一步评估面孔情绪效价, 即情绪面孔在

早期知觉过程形成的刺激表征可能会在工作空间内得到分类、识别等进一步的认知加工。该过程可能会激活额顶皮层和其他大脑区域，并诱发 LP 和 LOP。

面孔情绪信息的自动加工独立于视觉意识。Chen 等(2020)采用情绪面孔刺激，并采用视觉掩蔽范式操控意识，结果显示，无意识的恐惧面孔能诱发 vMMN。但是该研究的无意识水平操控不够严格，因被试在无意识水平判断面孔情绪的正确率显著高于机会水平。本研究采用非注意视盲范式以更有效地操控无意识水平。行为结果显示，无意识组在被告知情绪面孔的存在之前，不能区分情绪面孔和其他未出现的图形。ERP 结果提示，无意识的快乐和恐惧面孔都能诱发 vMMN，且其幅值不受意识影响。这说明个体能无意识提取面孔情绪信息规律并自动检测情绪信息的变化，而且该机制独立于视觉意识。值得注意的是，与 Chen 等(2020)得出只有恐惧面孔能无意识自动加工的结果不同，本研究得出面孔情绪信息能无意识自动加工的结论适用于快乐和恐惧两种情绪面孔。结果差异可能由不同实验范式操控的无意识水平不同所致。有研究者提出，无意识水平不是单一的状态，不同的实验范式操控的无意识水平可能不同(Pitts et al., 2018)。通过操控刺激强度的方法使刺激处于一种阈下意识；不改变刺激强度，而是通过操控自上而下的注意的方法使刺激处于前意识(Pitts et al., 2018)。与阈下意识相比，前意识的刺激强度可能更高。因此，与 Chen 等(2020)采用的视觉掩蔽范式(阈下意识水平)相比，非注意视盲范式(前意识水平)更有利于诱发无意识 vMMN。本研究与 Chen 等(2020)的结果差异提示不同实验范式操控的无意识水平影响面孔情绪信息的无意识自动加工。此外，vMMN 反映的自动检测变化机制与视觉意识的关系尚有争议。与本研究结果相反，采用棋盘格这类简单视觉刺激，并采用视觉掩蔽范式操控意识的研究结果(Czigler et al., 2007; Flynn et al., 2017)显示，无意识刺激不能诱发 vMMN。采用相对简单的刺激和情绪面孔的研究结果之差异可能由情绪面孔的特异性所致。对面孔情绪信息的快速加工有助于个体评估环境的情况并做出适当的行为反应(Brosch et al., 2010)，而这对于个体的生存可能非常重要(Palermo & Rhodes, 2007)。有研究结果提示，面孔情绪信息能无意识加工(Axelrod et al., 2015; Pegna et al., 2005; Sato et al., 2014)，而且可能通过从上丘脑、枕核到杏仁核这条皮层下通路进行快速加工(Morris et al., 1999; Pegna et al., 2005; Tamietto & de Gelder, 2010)。例如，Morris 等(1999)采用视觉掩蔽范式操控意识的研究结果显示，无意识的恐惧相关面孔激活了右侧杏仁核活动，而且右侧杏仁核与枕核、上丘脑的功能连接呈正相关。这为面孔情绪信息的皮层下通路加工提供了较清晰的证据。因此，面孔情绪信息可能经由皮层下通路加工，并诱发 vMMN，而且这种加工是快速且自动的，不受意识调制。这提示采用具有高自动加工性的面孔情绪信息，有利于揭示 vMMN 反映的检测变化机制的自动性及其与视觉意识的关系。

视觉注意影响面孔情绪信息自动加工。关于面孔情绪的自动加工，虽然有研究者在面孔与任务无关时探究该问题(Stefanics et al., 2012; Stefanics et al., 2018)，但是另有研究者在面孔与任务相关但情绪与任务无关时探究该问题(Kimura et al., 2012; Kreegipuu et al., 2013)。例如，Kimura (2012)让被试忽略面孔的身份和情绪信息，只对戴眼镜的面孔进行反应，以探究在面孔与任务相关时，个体对任务无关的面孔情绪的自动加工。与此一致，本研究在任务相关时，让被试判断面孔是否持续消失，而不是对面孔情绪进行反应。因此，即使面孔与任务相关，vMMN 仍反映了对非注意的面孔情绪的自动加工。本研究通过任务相关性操控对面孔刺激的选择性注意。在任务无关时，面孔处于非注意状态；而在任务相关时，面孔受到个体选择性注意加工。结果显示，与任务无关相比，任务相关时 vMMN 幅值更大。这提示视觉注意影响面孔情绪信息的自动加工。该结果能从预测编码理论得到解释(Feldman & Friston, 2010)。该理论认为注意能通过调节预测误差单元的突触增益来提高预测精度。与不精确的预测相比，对精确预测的违背诱发更多的预测错误信号(Friston, 2010)。vMMN 被认为反映了知觉预测错误信号(Stefanics et al., 2014)。因此，视觉注意可能通过提高预测精度以调制 vMMN 幅值。但是视觉注意与 vMNN 的关系尚有争议。与本研究结果相反，采用几何图形刺激(Schlossmacher et al., 2020)的研究结果显示，通过任务相关性操控的视觉注意不影响 vMMN。造成结果差异的原因可能是与几何图形相比，在任务相关时个体可能会投入更多的注意资源加工面孔情绪信息。有研究结果提示，情绪面孔能够快速地捕获注意(Santesso et al., 2008; Wirth & Wentura, 2020)。此外，本研究中得出视觉注意促进

面孔情绪信息的自动加工的结果可能不是任务难度所致。本研究的行为结果显示，与任务无关相比，任务相关时的准确率更低，因而难度更大。但是有研究结果提示，任务难度不影响 vMMN 幅值(Kimura & Takeda, 2013; Pazo-Alvarez et al., 2004)。总之，本研究为视觉注意影响面孔情绪信息自动加工提供了较清晰的证据。

在意识神经相关物方面，本研究采用情绪面孔刺激，与以往采用中性面孔的研究结果存在差异。Shafto 和 Pitts (2015)采用中性面孔刺激得出 VAN 与意识相关, LP 与任务相关性有关。但是与之不同，本研究采用情绪面孔刺激得出 VAN 和 LP 可能都是意识神经相关物。如前所述，由于中性面孔和情绪面孔的晚期加工存在差异(Duval et al., 2013; Eimer & Holmes, 2002; Luo et al., 2010)，中性面孔和情绪面孔的意识神经相关物可能不同。此外，在视觉意识与 vMMN 的关系方面，本研究采用情绪面孔刺激，与以往采用相对简单刺激的研究结果存在差异。以往研究采用棋盘格这类简单视觉刺激的研究结果(Czigler et al., 2007; Flynn et al., 2017)提示，无意识刺激不能诱发 vMMN。与之不同，本研究采用情绪面孔刺激得出情绪面孔信息的自动加工独立于视觉意识，即无意识的情绪面孔能诱发 vMMN，且其幅值不受意识调制。如前所述，由于面孔情绪信息能无意识加工(Axelrod et al., 2015; Pegna et al., 2005; Sato et al., 2014)，研究结果差异可能由面孔情绪信息的高自动加工性所致。这些结果提示采用情绪面孔刺激有利于揭示意识神经相关物以及视觉意识与 vMMN 的关系。

本研究存在一些局限。第一，本研究没有操控空间注意。实验过程中，情绪面孔位于视野中央，一直处于被试的空间注意范围内。因此，视觉意识可能受空间注意的混淆影响。为避免该影响，未来研究可将视觉刺激成对地放置在视野两侧。第二，本研究只采用了快乐和恐惧情绪面孔。因此，将本研究结论推广到其他面孔情绪(如愤怒、悲伤等)时应当谨慎。

5　结论

本研究的主要结论如下。第一，对情绪面孔的视觉意识在不同的时间进程上有不同的 ERP 指标——VAN 反映早期知觉经验，而 LP 和 LOP 反映晚期意识过程；第二，面孔情绪信息的自动加工独立于视觉意识，但是受视觉注意调制。

参　考　文　献

Aru, J., & Bachmann, T. (2017). In and out of consciousness: How does conscious processing (d)evolve over time? *Frontiers in Psychology, 8*, 128.

Axelrod, V., Bar, M., & Rees, G. (2015). Exploring the unconscious using faces. *Trends in Cognitive Sciences, 19*(1), 35–45.

Becker, D. V., Neel, R., Srinivasan, N., Neufeld, S., Kumar, D., & Fouse, S. (2012). The vividness of happiness in dynamic facial displays of emotion. *Plos One, 7*(1), e26551.

Brosch, T., Pourtois, G., & Sander, D. (2010). The perception and categorisation of emotional stimuli: A review. *Cognition & Emotion, 24*(3), 377–400.

Calvo, M. G., & Nummenmaa, L. (2008). Detection of emotional faces: Salient physical features guide effective visual search. *Journal of Experiment Psychology: General, 137*(3), 471–494.

Chen, B., Sun, P., & Fu, S. (2020). Consciousness modulates the automatic change detection of masked emotional faces: Evidence from visual mismatch negativity. *Neuropsychologia, 144*, 107459.

Czigler, I. (2014). Visual mismatch negativity and categorization. *Brain Topogr, 27*(4), 590–598.

Czigler, I., Weisz, J., & Winkler, I. (2007). Backward masking and visual mismatch negativity: Electrophysiological evidence for memory-based detection of deviant stimuli. *Psychophysiology, 44*(4), 610–619.

Dehaene, S., & Changeux, J. P. (2011). Experimental and theoretical approaches to conscious processing. *Neuron, 70*(2), 200–227.

Duval, E. R., Moser, J. S., Huppert, J. D., & Simons, R. F. (2013). What's in a Face? *Journal of Psychophysiology, 27*(1), 27–38.

Eimer, M., & Holmes, A. (2002). An ERP study on the time course of emotional face processing. *Neuroreport, 13*(4), 427–431.

Feldman, H., & Friston, K. J. (2010). Attention, uncertainty, and free-energy. *Frontiers in Human Neuroscience, 4*, 215.

Flynn, M., Liasis, A., Gardner, M., & Towell, T. (2017). Visual mismatch negativity to masked stimuli presented at very brief presentation rates. *Experimental Brain Research, 235*(2), 555–563.

Forster, J., Koivisto, M., & Revonsuo, A. (2020). ERP and MEG correlates of visual consciousness: The second decade. *Consciousness and Cognition, 80*, 102917.

Friston, K. (2010). The free-energy principle: A unified brain theory? *Nature Reviews Neuroscience, 11*(2), 127–138.

Hillyard, S. A., & Anllo-Vento, L. (1998). Event-related brain potentials in the study of visual selective attention. *Proceedings of the Natlonal Academy of Sciences of the United States of America, 95*(3), 781–787.

Kimura, M., Kondo, H., Ohira, H., & Schröger, E. (2012). Unintentional temporal context-based prediction of emotional faces: An electrophysiological study. *Cerebral Cortex, 22*(8), 1774–1785.

Kimura, M., & Takeda, Y. (2013). Task difficulty affects the predictive process indexed by visual mismatch negativity. *Frontiers in Human Neuroscience, 7*, 267.

Koch, C., Massimini, M., Boly, M., & Tononi, G. (2016). Neural correlates of consciousness: Progress and problems. *Nature Reviews Neuroscience, 17*(5), 307–321.

Koivisto, M., & Grassini, S. (2016). Neural processing around 200 ms after stimulus-onset correlates with subjective visual awareness. *Neuropsychologia, 84*, 235–243.

Koivisto, M., Grassini, S., Salminen-Vaparanta, N., & Revonsuo,

A. (2017). Different electrophysiological correlates of visual awareness for detection and identification. *Journal of Cognitive Neuroscience, 29*(9), 1621–1631.

Koivisto, M., & Revonsuo, A. (2007). Electrophysiological correlates of visual consciousness and selective attention. *Neuroreport, 18*(8), 753–756.

Koivisto, M., & Revonsuo, A. (2008). The role of selective attention in visual awareness of stimulus features: Electrophysiological studies. *Cognitive Affective & Behavioral Neuroscience, 8*(2), 195–210.

Koivisto, M., & Revonsuo, A. (2010). Event-related brain potential correlates of visual awareness. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews, 34*(6), 922–934.

Koivisto, M., Revonsuo, A., & Salminen, N. (2005). Independence of visual awareness from attention at early processing stages. *Neuroreport, 16*(8), 817–821.

Koivisto, M., Salminen-Vaparanta, N., Grassini, S., & Revonsuo, A. (2016). Subjective visual awareness emerges prior to P3. *European Journal of Neuroscience, 43*(12), 1601–1611.

Kreegipuu, K., Kuldkepp, N., Sibolt, O., Toom, M., Allik, J., & Naatanen, R. (2013). vMMN for schematic faces: Automatic detection of change in emotional expression. *Frontiers in Human Neuroscience, 7*, 714.

Kuldkepp, N., Kreegipuu, K., Raidvee, A., Näätänen, R., & Allik, J. (2013). Unattended and attended visual change detection of motion as indexed by event-related potentials and its behavioral correlates. *Frontiers in Human Neuroscience, 7*, 476.

Lamme, V. A. F. (2010). How neuroscience will change our view on consciousness. *Cognitive Neuroscience, 1*(3), 204–220.

Lamy, D., Salti, M., & Bar-Haim, Y. (2009). Neural correlates of subjective awareness and unconscious processing: An ERP study. *Journal of Cognitive Neuroscience, 21*(7), 1435–1446.

LoBue, V. (2009). More than just another face in the crowd: Superior detection of threatening facial expressions in children and adults. *Developmental Science, 12*(2), 305–313.

Luo, W., Feng, W., He, W., Wang, N. Y., & Luo, Y. J. (2010). Three stages of facial expression processing: ERP study with rapid serial visual presentation. *Neuroimage, 49*(2), 1857–1867.

Maier, A., & Tsuchiya, N. (2021). Growing evidence for separate neural mechanisms for attention and consciousness. *Attention Perception & Psychophysics, 83*(2), 558–576.

Morris, J. S., Ohman, A., & Dolan, R. J. (1999). A subcortical pathway to the right amygdala mediating “unseen” fear. *Proceedings of the Natlonal Academy of Sciences of the United States of America, 96*(4), 1680–1685.

O'Regan, J. K., & Noë, A. (2001). A sensorimotor account of vision and visual consciousness. *Behavioral and Brain Sciences, 24*(5), 939–973.

Palermo, R., & Rhodes, G. (2007). Are you always on my mind? A review of how face perception and attention interact. *Neuropsychologia, 45*(1), 75–92.

Pazo-Alvarez, P., Amenedo, E., & Cadaveira, F. (2004). Automatic detection of motion direction changes in the human brain. *European Journal of Neuroscience, 19*(7), 1978–1986.

Pegna, A. J., Khateb, A., Lazeyras, F., & Seghier, M. L. (2005). Discriminating emotional faces without primary visual cortices involves the right amygdala. *Nature Neuroscience, 8*(1), 24–25.

Pitts, M. A., Lutsyshyna, L. A., & Hillyard, S. A. (2018). The relationship between attention and consciousness: An expanded taxonomy and implications for 'no-report' paradigms. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences, 373*(1755).

Pitts, M. A., Martinez, A., & Hillyard, S. A. (2012). Visual processing of contour patterns under conditions of inattentional blindness. *Journal of Cognitive Neuroscience, 24*(2), 287–303.

Pitts, M. A., Metzler, S., & Hillyard, S. A. (2014). Isolating neural correlates of conscious perception from neural correlates of reporting one’s perception. *Frontiers in Psychology, 5*, 1078.

Polich, J. (2007). Updating P300: An integrative theory of P3a and P3b. *Clinical Neurophysiology, 118*(10), 2128-2148.

Railo, H., Koivisto, M., & Revonsuo, A. (2011). Tracking the processes behind conscious perception: A review of event-related potential correlates of visual consciousness. *Consciousness and Cognition, 20*(3), 972–983.

Rutiku, R., & Bachmann, T. (2017). Juxtaposing the real-time unfolding of subjective experience and ERP neuromarker dynamics. *Consciousness and Cognition, 54*, 3–19.

Rutiku, R., Martin, M., Bachmann, T., & Aru, J. (2015). Does the P300 reflect conscious perception or its consequences? *Neuroscience, 298*, 180–189.

Salti, M., Bar-Haim, Y., & Lamy, D. (2012). The P3 component of the ERP reflects conscious perception, not confidence. *Consciousness and Cognition, 21*(2), 961–968.

Santesso, D. L., Meuret, A. E., Hofmann, S. G., Mueller, E. M., Ratner, K. G., Roesch, E. B., & Pizzagalli, D. A. (2008). Electrophysiological correlates of spatial orienting towards angry faces: A source localization study. *Neuropsychologia, 46*(5), 1338–1348.

Sato, W., Kubota, Y., & Toichi, M. (2014). Enhanced subliminal emotional responses to dynamic facial expressions. *Frontiers in Psychology, 5*, 994.

Schlossmacher, I., Dellert, T., Pitts, M., Bruchmann, M., & Straube, T. (2020). Differential effects of awareness and task relevance on early and late ERPs in a no-report visual oddball paradigm. *Journal of Neuroscience, 40*(14), 2906–2913.

Segal, S. C., & Moulson, M. C. (2020). What drives the attentional bias for fearful faces? An eye-tracking investigation of 7-month-old infants’ visual scanning patterns. *Infancy, 25*(5), 658–676.

Shafto, J. P., & Pitts, M. A. (2015). Neural signatures of conscious face perception in an inattentional blindness paradigm. *Journal of Neuroscience, 35*(31), 10940–10948.

Stefanics, G., Csukly, G., Komlosi, S., Czobor, P., & Czigler, I. (2012). Processing of unattended facial emotions: A visual mismatch negativity study. *Neuroimage, 59*(3), 3042–3049.

Stefanics, G., Heinzle, J., Horvath, A. A., & Stephan, K. E. (2018). Visual mismatch and predictive coding: A computational single-trial ERP study. *Journal of Neuroscience, 38*(16), 4020–4030.

Stefanics, G., Kremláček, J., & Czigler, I. (2014). Visual mismatch negativity: A predictive coding view. *Frontiers in Human Neuroscience, 8*, 666.

Tamietto, M., & de Gelder, B. (2010). Neural bases of the non-conscious perception of emotional signals. *Nature Reviews Neuroscience, 11*(10), 697–709.

Tsuchiya, N., Wilke, M., Frässle, S., & Lamme, V. A. F. (2015). No-report paradigms: Extracting the true neural correlates of consciousness. *Trends in Cognitive Sciences, 19*(12), 757–770.

Wirth, B. E., & Wentura, D. (2020). It occurs after all: Attentional bias towards happy faces in the dot-probe task. *Attention Perception & Psychophysics, 82*(5), 2463–2481.

Neural correlates of consciousness of emotional faces and the unconscious automatic processing: Evidence from event-related potentials (ERPs)

SUN Bo, ZENG Xianqing, XU Kaiyu, XIE Yunting, FU Shimin

(*Department of Psychology and Center for Brain and Cognitive Sciences, School of Education, Guangzhou University, Guangzhou* 510006, *China*)

Abstract

The neural correlates of consciousness are debatable due to the confounding effects of subjective reports. In addition, although previous studies have suggested that vMMN is relatively insensitive to the manipulation of visual attention, the relationship between vMMN and visual consciousness remains unclear. The inattentional blindness paradigm can not only effectively manipulate visual consciousness, but also explore the conscious process without relying on subjective reports. Therefore, we used this paradigm to manipulate visual consciousness. Moreover, we introduced emotional (happy and fearful) faces, which are biologically and socially significant visual stimuli, to explore the neural correlates of consciousness and the relationship between automatic detection of changes and visual consciousness.

Fifty-six Chinese participants took part in the present study. We recorded electroencephalography (EEG) in three phases. In phase A, the participants needed to detect changes of the red dots. However, because they were not informed of the existence of emotional faces, some participants were unconscious of the task-irrelevant emotional faces. In phase B and C, all participants were informed about the emotional faces. Thus, they were conscious of the emotional faces. Specifically, in phase B, the participants still needed to detect changes of the red dots, and the emotional faces are task-irrelevant. However, in phase C, the participants were asked to detect changes of emotional faces, and thus they were task-relevant in phase C. To check the conscious state of emotional faces, subjects were required to fill out an awareness questionnaire after completing phases A and B. Then the participants were divided into unconscious group and conscious group according to their conscious state of emotional faces in phase A.

Results can be summarized as following. (1) Two primary contrasts were made: conscious versus unconscious (equally task irrelevant) to reveal the neural correlates of consciousness and task-relevant versus task-irrelevant (equally aware) to reveal the effect of task relevance. In the early stage, the results showed that the standard emotional faces in phase B evoked significantly stronger negativity than in phase A for the unconscious group, suggesting that the conscious process of emotional faces evoked visual awareness negativity (VAN) (200~300 ms). By contrast, compared with the task-irrelevant condition (phase B), the standard emotional faces under the task-relevant condition (phase C) evoked significantly stronger negativity, suggesting that task relevance evoked selection negativity (SN) (180~250 ms). This provides evidence that VAN is a neural correlate of consciousness by separating the neural activity of visual awareness and selective attention of emotional faces. Moreover, in the late stage, the results showed that the standard emotional faces in phase B evoked significantly stronger positivity than in phase A for the unconscious group, suggesting that the conscious process of emotional faces evoked late positivity (LP) (300~400 ms) and late occipital positivity (LOP) (400~600 ms). By contrast, compared with the task-irrelevant condition (phase B), the standard emotional faces under the task-relevant condition (phase C) evoked significantly stronger positivity, suggesting that task relevance evoked LP (300~400 ms) and LOP (400~500 ms) that may reflect the post-perceptual processing of target stimuli. Therefore, this study also provides evidence that LP and LOP are neural correlates of consciousness without the confounding effects of task relevance. In short, VAN may reflect the early perceptual process of emotional faces, LP and LOP may reflect the further process of classifying and recognizing the stimulus representations of emotional faces, such as assessing the emotional valence of faces.

(2) The ERP results showed that a vMMN effect was found in all three phases: compared to standard

emotional faces, deviant evoked significantly stronger negativity at the 250~350 ms latency in three phases. Importantly, a vMMN effect was observed for the unconscious group in the phase A. Furthermore, no amplitude difference of vMMN was observed between the aware (phase B) and the unaware (phase A) conditions among unconscious group, suggesting that the deviance processing of emotional faces is independent of visual consciousness. Compared with Chen (2020), this study provides evidence that the deviance processing of emotional faces is independent of visual consciousness under the condition that the unconsciousness level is manipulated more effectively.

(3) Compared with the task-irrelevant condition (phase B), the vMMN amplitude under the task-relevant condition (phase C) was larger, suggesting that task relevance modulates the amplitude of vMMN and the attentional effect of task relevance promotes the deviance processing of emotional faces.

The conclusions of this study can be summarized as following. (1) VAN is the neural correlate of consciousness under the condition of avoiding confounding effects of visual attention, and LP and LOP are the neural correlates of consciousness under the condition of avoiding confounding effects of task relevance. (2) The visual awareness of emotional faces has different ERP indicators at different time stages. Specifically, VAN reflects the early perceptual experience, LP and LOP reflect the late conscious experience of non-perceptual information. (3) The deviance processing of emotional faces is independent of visual consciousness. (4) The attentional effect of task relevance modulates the deviance processing of emotional faces.

Key words inattentional blindness, emotional faces, visual mismatch negativity, visual awareness negativity, late positivity